BTS 2014

Partie commune

Exercice 1 : L'élément aluminium

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.

1.1. Etude de l'élément
Aluminium

Données :

Numéro atomique : 13

Nombre de masse : 27

1.1.a. Donner la représentation de l'élément aluminium sous la forme ${}^{A}_{Z}X$.

1.1.b. Donner la composition du noyau d'un atome d'aluminium en justifiant votre réponse en fonction des données.

1.1.c. La configuration électronique fondamentale d'un atome d'aluminium est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$. Donner la position (ligne et colonne) de l'élément aluminium dans la classification périodique des éléments.

1.1.d. Quelle est la configuration électronique de l'ion Al^{3+} ? Que pensez-vous de la stabilité de cet ion ? Justifier.

1.2. Structure cristalline de l'aluminium

Données :

Masse molaire atomique : M(Al) = 27,0 $g.mol^{-1}$

Nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$

1.2.a. L'aluminium cristallise dans un réseau cubique à faces centrées. Représenter le schéma de la maille élémentaire de ce réseau.

1.2.b. Quelle est la coordinence d'un atome dans cette structure cristalline ?

1.2.c. Déterminer la valeur de N, nombre d'atomes par maille.

1.2.d. Démontrer que la masse volumique ρ d'un métal est donnée par la relation : $\rho = \frac{MN}{N_A a^3}$.

1.2.e. Vérifier que l'unité ρ est bien celle d'une masse volumique.

1.2.f. Sachant que l'arête de la maille est a = 0,404 nm, calculer la masse volumique de l'aluminium.
Exprimer le résultat en $kg.m^{-3}$ en conservant 3 chiffres significatifs.
On donne une densité de l'aluminium de 2,7. Les deux valeurs sont-elles cohérentes ?

1.3. Propriétés chimiques de l'aluminium

Données à 25°C :

Produit de solubilité de $Al(OH)_3$: $K_S = 10^{-34}$

Produit ionique de l'eau : $Ke = 10^{-14}$

L'addition d'hydroxyde de sodium (soude) dans une solution contenant des ions $Al^{3+}(aq)$ conduit à la formation d'un gel hydroxyde correspondant à l'espèce

précipitée $Al(OH)_3(s)$.

1.3.a. Ecrire l'équation chimique de cette réaction de précipitation.

1.3.b. Donner l'expression du produit de solubilité K_S de $Al(OH)_3$.

1.3.c. On considère une solution de concentration $[Al^{3+}] = C = 1{,}0.10^{-6}$ mol.L^{-1}.
- Déterminer la concentration en ions hydroxyde $[OH^-]$ au début de la précipitation de l'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3(s)$.
- En déduire le pH de début de précipitation.

1.3.d. L'espèce $Al(OH)_3$ peut réagir avec les ions hydroxyde afin de former le complexe $Al(OH)^{4-}$ soluble. Que pouvez-vous en déduire des propriétés acido-basiques de l'espèce $Al(OH)_3$?

1.3.e. Le gel d'hydroxyde $Al(OH)_3$ se déshydrate en vieillissant pour conduire à de l'alumine notée Al_2O_3. Donner l'équation chimique de cette transformation « naturelle ».

Exercice 2 : Utilisation de l'aluminium en métallurgie

L'aluminium pur a peu d'utilisations. Par contre, il sert de base à de nombreux alliages. Le diagramme isobare d'équilibre liquide-solide des mélanges Aluminium-Silicium (Al-Si) où xs représente la fraction atomique en silicium est reproduit en annexe 2. On néglige dans cette étude la miscibilité des deux solides.

2.1. Comment nomme-t-on la courbe a ?

2.2. Préciser la nature des phases en présence dans les domaines I, Il, Ill et IV.

2.3. Comment appelle-t-on un mélange Al-Si à 12 % en atome de Si ?
Quelle est la propriété d'un tel mélange ?

2.4. Tracer sur l'annexe 2, l'allure de la courbe de refroidissement d'un mélange de fraction atomique égale à 20 % en Si pour une température allant de 800 à 200 C.
Vous indiquerez clairement pour chaque partie du graphe les phases en présence.
Vous repérerez sur le diagramme binaire les points particuliers, en correspondance avec la courbe d'analyse thermique.

Exercice 3 : Etude par microscopie optique d'un dépôt d'aluminium

Pour le contrôle de la qualité du dépôt d'un alliage binaire aluminium-silicium réalisé dans l'atelier de l'usine, on dispose pour d'un microscope optique dont l'objectif et l'oculaire sont assimilés à des lentilles minces convergentes.
L'objectif de ce microscope porte l'indication suivante : x 35
L'oculaire de ce microscope porte l'indication : x 12.

3.1. Donner la relation liant la distance focale f et la vergence C d'une lentille mince convergente. Vous préciserez les unités de chacune des grandeurs.

3.2. Donner le rôle de l'objectif et celui de l'oculaire.

3.3. Préciser la signification des indications portées par l'objectif et par l'oculaire. Quelle grandeur caractéristique du microscope peut-on déterminer à partir de ces deux valeurs ? La calculer.

3.4. Le pouvoir séparateur du microscope, noté c, est donné par la relation : $\epsilon = \frac{0{,}6\ \lambda}{n\ sinu}$

λ : longueur d'onde du rayonnement utilisé

n : indice de réfraction du milieu (n = 1,0 pour l'air)

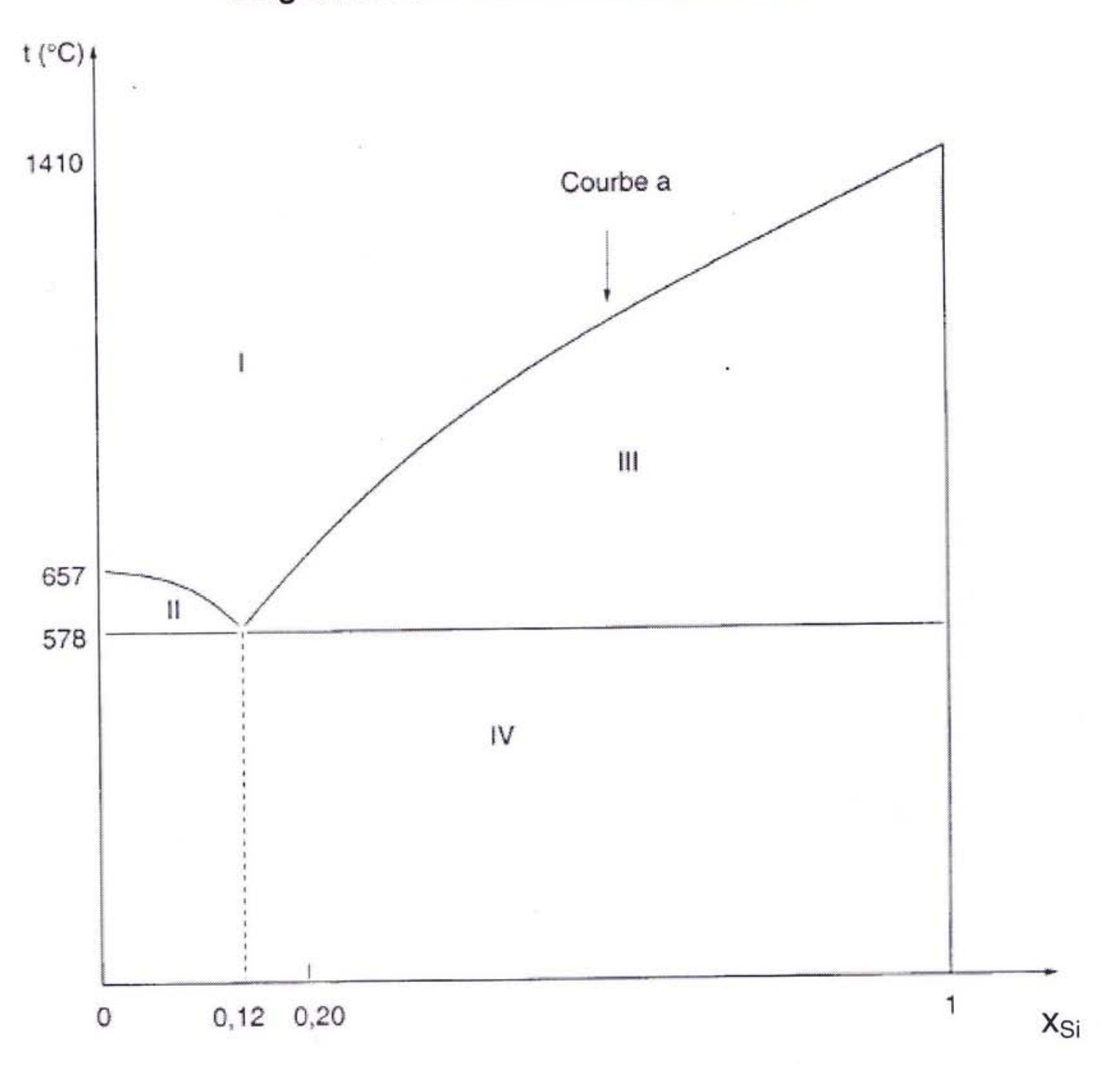
u : angle d'ouverture de l'instrument

3.3.a. Que représente le pouvoir séparateur d'un microscope ?

3.4.b. Calculer le pouvoir séparateur dans l'air sachant que λ = 0,55 µm et u = 13°.

3.4.c. Pour observer davantage de détails, est-il préférable de choisir un rayonnement de plus grande ou de plus faible longueur d'onde λ ? Justifier

Diagramme binaire Aluminium-Silicium



exercice 2 - Question 2.4.



Document 1 :

Auparavant les bielles étaient fabriquées en deux morceaux qui étaient ensuite assemblés et vissés : le contact n'était pas parfait et les vis fatiguaient rapidement en flexion pour finalement casser.

Une solution ingénieuse a été imaginée. La bielle est fabriquée en un seul bloc puis elle est cassée nettement en deux morceaux selon une rupture fragile. Les deux morceaux seront parfaitement ajustés lors du vissage autour du vilebrequin.

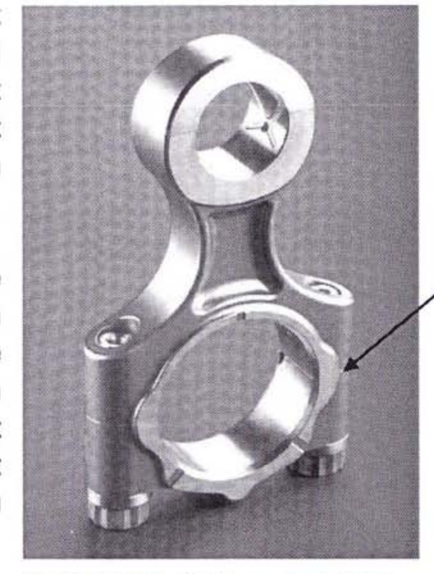


Figure 1 : Bielle sécable ; www.vcr-i.com

Pour réussir un tel exploit, on réalise, dans un premier temps, ce qu'on appelle industriellement une trempe LASER à l'endroit précis qu'on souhaite casser.

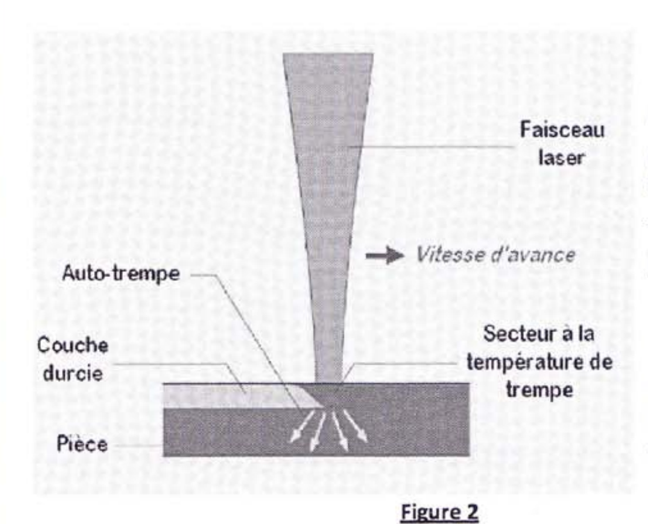


Figure 2

Ce traitement thermique consiste en un chauffage superficiel de la pièce par un faisceau LASER à une température supérieure à la température d'austénitisation T_a sans atteindre la fusion.

Juste après le passage du LASER, le refroidissement très rapide de la zone irradiée par conduction thermique dans la masse de la pièce permet la transformation martensitique de l'acier.

Document 2 : Les LASER

« Contrairement à la lumière du Soleil, la lumière LASER est monochromatique et très directionnelle : on peut la guider sur de longues distances et obtenir des puissances phénoménales. »

D'après www.espace-sciences.org

Document 3 : Les pyromètres

Les pyromètres ISR 12-LO et IGAR 12-LO sont des pyromètres bichromatiques digitaux de haute précision avec fibre optique, pour la mesure de température sans contact entre 300 et 3300°C. Les pyromètres mesurent d'après le principe bicolore (principe de rapport), selon lequel deux

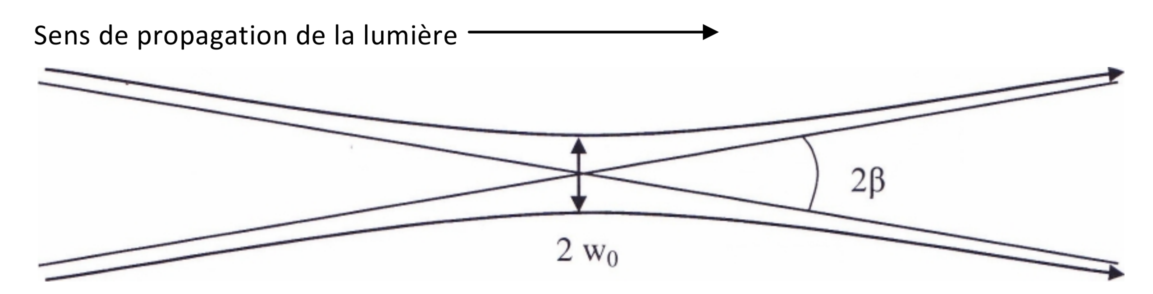
longueurs d'ondes voisines sont utilisées pour la détermination de la température. Cette technique présente des avantages par rapport aux pyromètres monochromatiques : dans de nombreux domaines la mesure de température devient indépendante de l'émissivité et insensible à la taille de la zone mesurée.
Bandes spectrales :
ISR 12-LO : λ_1 : 0,8 µm / λ_2: 1,05 µm
IGAR 12-LO: λ_1: 1,52 µm / λ_2: 1,64 µm
Extrait du manuel d'utilisation des pyromètres IMPAC

1.1.La martensite

Quelle particularité de la martensite est recherchée dans cette application ?

1.2. Le LASER
1.2.1. Quelles sont parmi les caractéristiques du LASER celles qui sont recherchées pour l'application étudiée?
1.2.2. On utilise un LASER au dioxyde de carbone émettant à la longueur d'onde λ = 10,6 µm.
1.2.2.1.Rappeler les limites du domaine des longueurs d'onde du spectre de la lumière visible.
1.2.2.2.A quel domaine spectral appartient la radiation émise par le LASER CO_2 ?
1.2.2.3. Le faisceau lumineux du LASER est caractérisé par un cône de demi-angle au sommet β et par un « waist » wo. Le terme anglais « waist » désigne ici le col d'étranglement de section circulaire de rayon wo.

Sens de propagation de la lumière →



On a la relation $\beta = \frac{180\ \lambda}{\pi^2 w_0}$ degrés. λ et w_o sont en unités SI.
Dans notre cas : w_o = 0,50 mm.
Calculer β avec deux chiffres significatifs.
1.2.2.4. Quelle caractéristique citée dans le document 2 confirme-t-elle ce calcul de β ?
1.2.3. Le LASER émet un rayonnement de puissance P = 310 W.
1.2.3.1.La densité de puissance J_{Laser} est donnée par la relation : $J_{Laser} = \frac{P}{S}$.
Calculer sa valeur au niveau du « waist » de rayon w_o.
1.2.3.2. Quelle affirmation du document 2 est-elle illustrée par la valeur de J_{Laser}? A titre de comparaison, le flux lumineux solaire reçu au sommet de l'atmosphère vaut 1340 $W.m^{-2}$.

1.3. La trempe LASER
1.3.1. Phase de chauffage
Le faisceau LASER incident est maintenant supposé de section carrée de côté L = 500 µm. Sa densité de puissance J_{Laser} est constante sur toute la section du faisceau. Un robot déplace le faisceau à la vitesse v et un point de la surface traitée est donc chauffé pendant la durée τ durant laquelle il se trouve sous le faisceau (fiqure 4).

On note θ (z,t) la température en degrés Celsius (°C) à la profondeur z à l'instant t.

On prend z = 0 à la surface de la pièce.

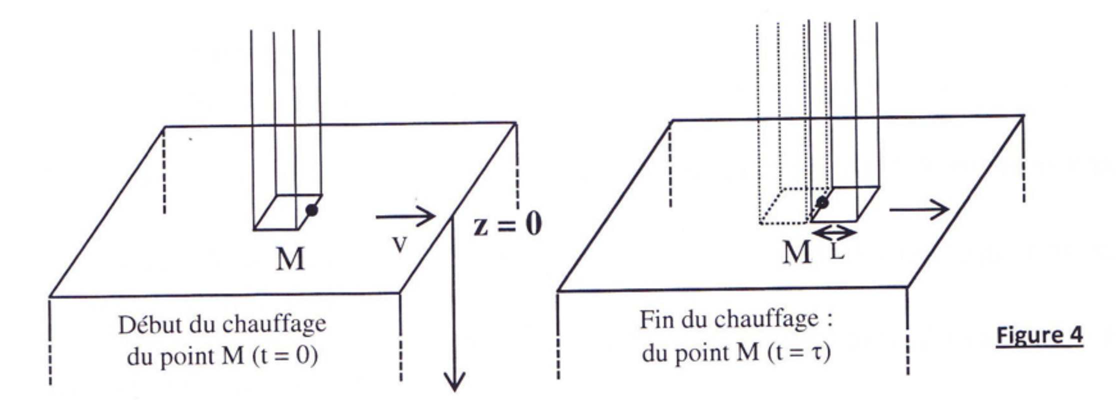


Figure 4

On suppose que le transfert d'énergie se fait uniquement selon l'axe (Oz).
1.3.1.1.Le faisceau de longueur L = 500 µm balaie la pièce avec la vitessev = 12,5 mm.s^{-1}.
Calculer la durée τ pendant laquelle un point M est chauffé.
1.3.1.2. On prend J_{Laser} = 4,0.10^{4} W.cm^{-2}. Le rayonnement est réfléchi à 82%.
Calculer J_o la densité de puissance absorbée par l'acier.
1.3.1.3.L'énergie lumineuse absorbée sous forme de rayonnement en z = 0 va se propager à l'intérieur du métal. Quel est le mode de transfert thermique mis en jeu ?
1.4. On considère maintenant que J_o = 7,2.10' W.m^{-2}. Ce mode de transfert thermique peut être modélisé par la relation θ (z,t) = θ_0 + $\frac{2J_0}{K}\sqrt{Dt}$ x F (u) avec $u = \frac{z}{2\sqrt{Dt}}$.
F(u) est une fonction dont le graphe est donné en annexe 1. K est une constante.
D est la diffusivité thermique.

Données :
K = 35 W.°C^{-1}.m^{-1} , D = 1,0.10^{-5} m^{2}.s^{-1}, τ = 40 ms,
Température d'austénitisation θ_a = 880 °C.
1.4.1. Quelle est la dimension de la variable u ? Justifier.
1.4.2. La pièce est initialement à la température θ_0 = 20°C. Montrer que, dans ce cas,
$\theta(z,\tau)$ = θ_0 + 2,6.10^{3} x F(u)
1.4.3. La température d'austénitisation 0a est atteinte à la date t = T.
Calculer F(u) à partir de la relation (1)
Déterminer graphiquement u (annexe 1 à rendre avec la copie). En déduire la profondeur z .
1.4.5. La profondeur z calculée est une estimation de la profondeur traitée. La profondeur réelle traitée sera inférieure à cette valeur. Pourquoi ?
1.5. Phase de refroidissement (toutes les données de la partie 1.4. restent valables).
La phase de refroidissement doit être très rapide : elle se fait dans la masse de la pièce par conduction.
On désire vérifier que le refroidissement par les deux autres modes de transfert thermique est négligeable.
On rappelle que la densité de flux absorbée par la pièce lors du chauffage est J_o = 7,2.10^{7} W.m^{-2}.
1.5.1. Refroidissement par rayonnement
La densité de flux rayonnée par unité de surface portée à la température T(K) est donnée par la loi de Stefan J_{ray} = σ x T^{4} pour un corps noir avec σ = 5,7.10^{-8} W. m^{-2}. K^{-4}
On rappelle que T(K) = θ (°C) + 273.
1.5.1.1.En supposant que le métal rayonne comme un corps noir lorsque la température de la pièce est proche de la température de fusion θ_s = 1527°C, calculer J_{ray}.
1.5.1.2. Comparer J_{ray} à la valeur de Jo et conclure.

1.5.2. Refroidissement par convection

La densité de flux échangée par convection dans l'air est donnée par la relation de Newton $J_{conv} = h \times (\theta_s - \theta_o)$ où $h = 15\ W.m^{-2}.°C^{-1}$ pour une plaque portée à la température θ_s refroidissant dans l'air à la température $\theta_o = 20°C$.

1.5.2.1. Calculer J_{conv} en prenant $\theta_s = 1527°C$.

1.5.2.2. Comparer J_{conv}, à la valeur de J_o et conclure.

1.6. La régulation de température de la trempe LASER

Une régulation de la puissance du chauffage LASER par mesure pyrométrique de la température peut être utilisée.

On désire que la pièce traitée ne soit pas chauffée à une température supérieure à 1500°C en surface.

1.6.1. La longueur d'onde pour laquelle le rayonnement thermique du corps noir est le plus intense est donnée par la loi de Wien $\lambda_{max}\ \mu m = \frac{2898}{T}$ pour une source à la température T(K).

Calculer λ_{max} en µm.

Exercice 2 – Contrôle d'une atmosphère de traitement thermique

Pour des usages très intenses la bielle sécable est forgée dans l'acier de désignation 35NiCrMol 6. Après forgeage, elle subit un cycle de traitements thermiques avant la trempe LASER. Ce traitement a pour objectif d'améliorer ses qualités mécaniques internes.

Cet acier est austénitisé à la température de 875°C. On souhaite maintenir un potentiel carbone d'environ 0,4%.

Document 4 : Procédé Variocarb®

« Le Variocarb-direct* est un procédé qui permet, à moindre coût, une trempe et un revenu d'aciers sans décarburation.

Au lieu d'utiliser du gaz endothermique fabriqué dans des générateurs spéciaux ou à partir d'azote et de méthanol liquide, le traitement thermique est réalisé sous azote.

Le Variocarb-direct* permet d'apporter directement dans le four un mélange contrôlé azote/hydrocarbure (propane) empêchant de manière efficace la décarburation de l'acier.

Le dioxyde de carbone et l'eau réagissent avec le propane selon les équations suivantes :

$3CO_2 + C_3H_8 \rightarrow 6\ CO + 4\ H_2$

$3\ H_2O + C_3H_8 \rightarrow 3\ CO + 7\ H_2$

... Le procédé est piloté par une sonde à oxygène...»

D'après Messer; Gases for life

www. messer. Fr

2.1. Définir le potentiel carbone de l'atmosphère du four.

2.2. Pourquoi les teneurs en dioxyde de carbone et en eau doivent-elles être très faibles ?

2.3. Quel est le rôle du propane?

2.4. Lors de l'installation, le fabricant mesure les pressions partielles de monoxyde de carbone CO et de dioxyde de carbone CO_2 par absorption infrarouge. Le potentiel carbone cible correspond à une activité du carbone en insertion $a_c = 0,3$.

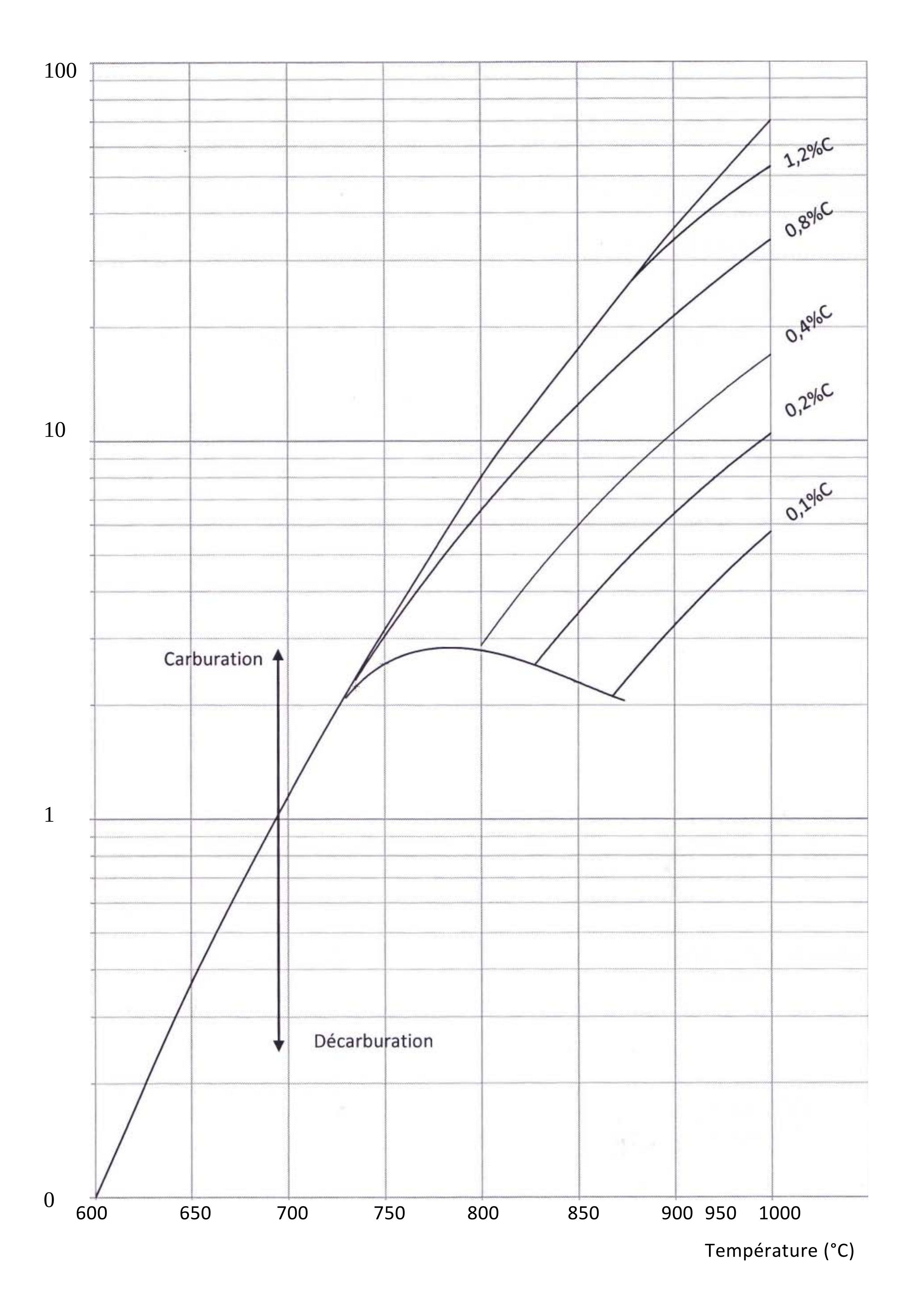
L'équilibre considéré est $2\ CO \Leftrightarrow CO_2 + C_\gamma$ de constante K.

à 298 K	C_γ	CO	CO_2
S^0 en $J.mol^{-1}.K^{-1}$	5,7	197,6	213,6

2.4.1. Calculer la valeur de $\Delta_r S°$.

2.4.2. On donne $\Delta_r H° = -170,5$ kJ/mol. En déduire la valeur de $\Delta_r G°$ pour la température de traitement (T = 1148 K).

2.4.3. Montrer que K = 0,037 à la température de traitement.
On prendra R = 8,314 $J.K^{-1}.mol^{-1}$
2.4.4. Exprimer K en fonction de P_{co2}, P_{co}, a_c.
2.4.5. En déduire $\frac{p_{CO}^2}{p_{CO\,2}}$
Les pressions sont données en bar et on rappelle que $a_c = 0,3$.
2.4.6. Cette valeur est-elle en accord avec celle déterminée graphiquement sur l'annexe à la température de 875°C représentant $\frac{p_{CO}^2}{p_{CO\,2}}$ en fonction de la température et du potentiel carbone ?


100
10
1
0
600
650
700
750
800
850
900
950
1000
Température (°C)
Carburation
Décarburation
1,2%C
0,8%C
0,4%C
0,2%C
0,1%C